

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-090113
 (43)Date of publication of application : 10.04.1998

(51)Int.Cl.

G01M 11/00
 G01B 9/02

(21)Application number : 08-267813
 (22)Date of filing : 18.09.1996

(71)Applicant : SONY CORP
 (72)Inventor : YAMAMOTO KENJI
 ICHIMURA ISAO
 MAEDA FUMISADA
 WATANABE TOSHIO
 OSATO KIYOSHI

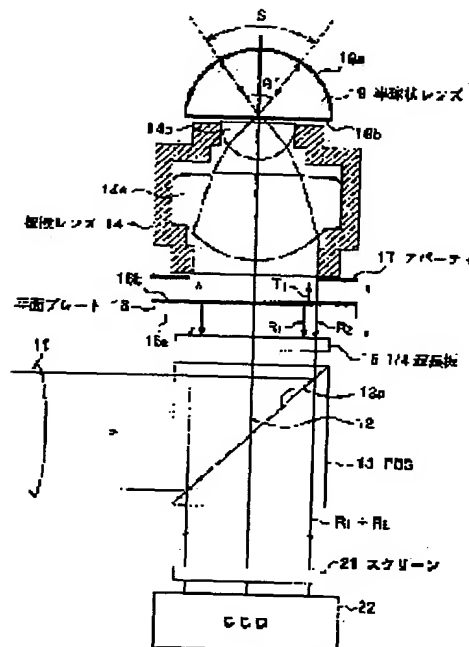
11017 U.S. PTO
 10/083558
 02/27/02

(54) INTERFEROMETER

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To highly accurately evaluate performance of a large numerical aperture(NA) lens by providing a reference wavefront generation means which generates a reference wavefront to interfere with a wavefront to be detected which runs an incident optical path in an opposite direction after being reflected at a reflecting means and passes again a lens to be detected.

SOLUTION: A laser beam 11 is reflected at a polarizing reflecting face 13a of a polarization beam splitter(PBS) 13, runs along an optical axis 12 in a forward direction and penetrates a 1/4 wave plate 15 to be a circularly polarized light. The light passing the 1/4 wave plate 15 is reflected at a face 16a to be a reference wave R1. The wave further penetrates a plane plate 16 and becomes a parallel light T1. The parallel light T1 is refracted at a plane 19b to be a spherical wave-like wavefront and reaches a convex face 19a. The wavefront in a range S provided for reflection is directly reflected and consequently returns an original optical path to be a parallel plane wave again, which penetrates the plane plate 16, etc., and reaches a screen 21. A light and shade pattern because of an interference of the reference wave R1 and a wave R2 to be detected is projected onto the screen 21, and imaged by a CCD 22.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japan Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平10-90113

(43)公開日 平成10年(1998) 4月10日

(51)Int.Cl.⁶

識別記号

F I

G 0 1 M 11/00

G 0 1 M 11/00

L

G 0 1 B 9/02

G 0 1 B 9/02

審査請求 未請求 請求項の数 5 F D (全 11 頁)

(21)出願番号 特願平8-267813

(22)出願日 平成8年(1996) 9月18日

(71)出願人 000002185

ソニー株式会社

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号

(72)発明者 山本 健二

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニ
ー株式会社内

(72)発明者 市村 功

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニ
ー株式会社内

(72)発明者 前田 史貞

東京都品川区北品川 6 丁目 7 番 35 号 ソニ
ー株式会社内

(74)代理人 弁理士 藤島 洋一郎

最終頁に続く

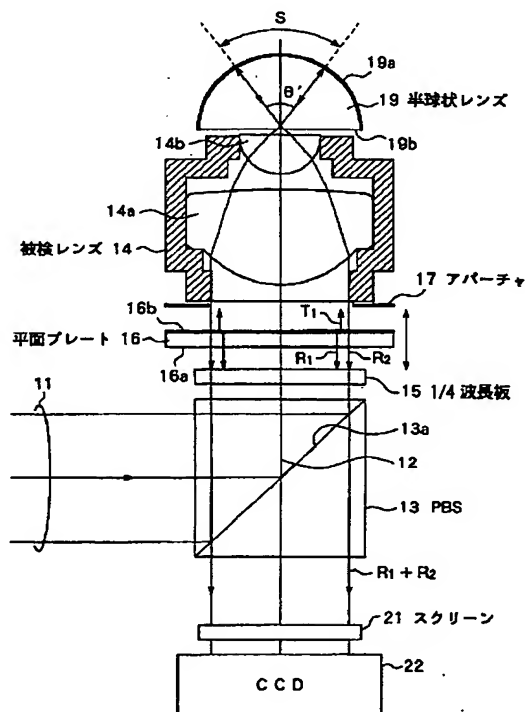
(54)【発明の名称】 干渉計

(57)【要約】

【課題】 高NAレンズの性能評価を高精度で行うことができると共に、製作および取り扱いが容易な干渉計を提供する。

【解決手段】 被検レンズ14を透過した球面波状の波面を反射させて元の光路に戻すために、半球状レンズ19の凸球面19aにおける内面反射を用いる。

【効果】 凹面反射ミラーに比べて小さく軽く製作できるため、自重、温度、取付治具等による歪みが少なく、取り扱いが容易で長期間安定した測定が可能となる。また、半球状レンズ19は、比較的容易に製作でき、しかも球面精度も十分なものを得ることができる。従って、高精度の球面波反射手段を容易かつ安価に製作することができ、干渉計全体としてのコストを低減できる。更に、被検レンズ14がカバーガラスと組み合わせて使用されるものである場合には、カバーガラス分を半球状レンズ19に含ませることによって、補正板が不要になる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 被検レンズ通過後の球面波状の光波を球面波状を保ったまま反射する反射手段と、前記反射手段での反射後、入射光路を逆進して再び被検レンズを通過して得られる被検波面と干渉させるための基準の参照波面を生成する参照波面生成手段とを備え、被検波面と参照波面との干渉を利用して被検レンズの光学特性を評価するための干渉計であって、前記反射手段として、少なくとも凸球面を有する光学レンズを用いたことを特徴とする干渉計。

【請求項2】 前記反射手段として、凸球面および平面を有する光学レンズを用いると共に、この光学レンズの平面側を被検レンズに対向させて被検レンズの光軸と略垂直に配置し、前記被検レンズ通過後の光波を前記光学レンズの平面側から入射させて、前記光学レンズの凸球面の曲率中心を中心とする球面波状の波面に転換すると共に、この球面波状の波面を前記光学レンズの凸球面の内面で反射させて入射光路を逆進させることにより前記被検波面を得るようにしたことを特徴とする請求項1記載の干渉計。

【請求項3】 前記光学レンズは、その凸球面が半球面からなる半球体であって、その曲率中心が前記被検レンズの焦点位置と一致するように配置されていることを特徴とする請求項2記載の干渉計。

【請求項4】 前記被検レンズが、その収束光路上に他の媒質体を配置した状態で使用されるものである場合において、前記光学レンズは、前記媒質体と光学的に等価な厚さだけ半球体よりも厚く形成されたレンズであって、前記被検レンズ通過後の光波が前記凸球面の曲率中心で焦点を結ぶように配置されていることを特徴とする請求項2記載の干渉計。

【請求項5】 前記光学レンズの凸球面側を被検レンズに対向させて配置し、前記被検レンズ通過後の光波を前記光学レンズの凸球面で反射させて入射光路を逆進させることにより前記被検波面を得るようにしたことを特徴とする請求項1記載の干渉計。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

【発明の属する技術分野】 本発明は光学レンズの性能を評価するための干渉計に係り、特に開口数（NA）の高いレンズの評価に適した干渉計に関する。

【0002】

【従来の技術】 光学レンズの評価方法の一つとして干渉計を用いる方法がある。このような干渉計には、フィゾー干渉計やトワイマン・グリーン干渉計等、各種のものがある。いずれの干渉計においても、被検体（光学レンズ）を透過した被検波面と干渉させるための参照波面（基準波面）が必要となる点で共通し、その参照波面を

如何に正確に形成するかという点が干渉計の精度（すなわち、評価精度）を左右する重要な要素となる。

【0003】 図9は、フィゾー干渉計を用いた従来の光学レンズ評価システムの概略構成を表すもので、具体的にはいわゆるフリンジスキャン法を用いて評価を行うものである。この干渉計は、平行光束であるレーザ光101を反射して光軸102の方向に向ける偏光ビームスプリッタ（以下、PBSという。）103と、PBS103と被検レンズ104との間に光軸102と直交するようにPBS103に近い方から順に配設された1/4波長板105、平面プレート106およびアパーチャ107と、被検レンズ104の後方（レーザビームの進行方向に着目すると往路方向）に順に配設された補正板108および凹面反射ミラー109と、PBS103の1/4波長板105とは反対側に順に配設されたスクリーン111および例えばCCD（電荷結合素子）を用いた撮像装置112とを備えている。

【0004】 レーザ光101は直線偏光であり、PBS103の偏光反射面103aにおいて100%の光が往路方向に反射されるようになっている。1/4波長板105は、それを通過する光に対し、直交する2つの偏光成分について90度の位相差を与えることにより、直線偏光を円偏光にあるいは円偏光を直線偏光に変換するものである。平面プレート106は、1/4波長板105と対向する面106aに反射防止処理が施され、被検レンズ104と対向する面106bが4%程度の反射率を有する高精度の平行平板であり、このうち、面106bで内面反射して復路方向に向かう光が、干渉を生じさせる基準平面波としての参照波 R_1 となる。この平面プレート106は、図示しないピエゾ素子等により、光軸102の方向に $\lambda/4$ （光の波長の1/4）ずつ4段階の移動が可能となっている。アパーチャ107は、被検レンズ104に入射する光束を制限するための絞りである。

【0005】 被検レンズ104は、光ディスク装置における光ピックアップ用の対物レンズ等であり、高いNAを有している。補正板108は、被検レンズ104がカバーガラスと組み合わせて使用することを前提とするものである場合において、カバーガラスを通過する際に生ずる光路差と等価な光路差を生じさせるためのものである。例えば、被検レンズ104が上記の光ピックアップ用の対物レンズの場合には、光ディスクの透明基板部分がカバーガラスに相当する。

【0006】 凹面反射ミラー109は、被検レンズ104によって一点に絞られたのち球面波状に広がった波面をそのまま逆方向（復路方向）に反射するための高精度の凹球面109aを備えている。この凹面反射ミラー109は、その凹球面109aの曲率中心110が被検レンズ104の焦点位置と一致するように配置されている。なお、凹球面109aの反射率は、そこで反射され

たのち補正板108、被検レンズ104および平面プレート106を透過して戻ってきた被検波 R_2 の強度が参照波 R_1 の強度と略等しくなるように設定されている。

【0007】スクリーン111は、平面プレート106の面106bで反射された参照波 R_1 と、凹面反射ミラー109の凹球面109aで反射されたのち被検レンズ104によって再び平面波状（平行光）に変換された被検波 R_2 との干渉模様を視覚的に認識できるように映し出すためのものである。スクリーン111上に映し出された干渉模様は撮像装置112によって撮像され、図示しない信号処理回路によって処理されるようになっている。

【0008】次に、このような従来の評価システムの作用を簡単に説明する。直線偏光であるレーザ光101はPBS103の偏光反射面103aで略100%反射して光軸102に沿って往路方向に進み、1/4波長板105を透過して円偏光となる。1/4波長板105を透過した光の一部は平面プレート106の面106aで反射されて参照波 R_1 となる。この参照波 R_1 は、さらに1/4波長板105を復路方向に透過して、元の直線偏光の偏光方向と直交する偏光方向を有する直線偏光となる。このため、参照波 R_1 はPBS103を略100%透過してスクリーン111上に到達する。

【0009】一方、1/4波長板105を透過して円偏光となり、さらに平面プレート106をも透過した平行光 T_1 は、被検レンズ104によって絞られ、補正板108の後方に焦点を結んだ後、再び球面波状に広がって凹面反射ミラー109に入射する。凹面反射ミラー109は、入射してきた球面波状の光波をその入射方向の反対方向に反射する。この結果、入射光は元の光路を通過して被検レンズ104により再び平行平面波となり、平面プレート106および1/4波長板105を順に透過する。このとき、1/4波長板105を透過することにより円偏光は、元の直線偏光の方向と直交する方向に偏光する直線偏光となるので、PBS103を略100%透過してスクリーン111上に到達する。

【0010】この結果、スクリーン111上には、参照波 R_1 と被検波 R_2 との干渉により生じた干渉縞（明暗模様）が映し出され、この干渉縞が撮像装置112によって撮像される。そして、平面プレート106を $\lambda/4$ ずつ光軸方向に4段階に移動させてスクリーン111に映し出される干渉の明暗を変化させ、この明暗の変化を図示しない信号処理回路によって処理することによってフリンジスキャン法による性能評価を行う。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】このように、従来の干渉計では、被検レンズ104によって絞られたのち球面波状に広がった波面を逆向きに反射する球面波反射手段として、球面精度の高い凹面反射ミラー109を用いていた。しかしながら、近年の光ディスク分野において

は、高密度化を実現するために高NAの光ピックアップ用の対物レンズが試作されつつあり、今後益々、高NAレンズの評価が必要となる可能性がある。このような高NAレンズの場合には開口角 θ （図9）が大きいことから、凹面反射ミラー109の凹球面109aのうち実際に反射に供する面積も大きくなる。したがって、高精度な凹球面が広範囲に要求されることとなるが、このような球面ミラーを製作することは實際上極めて困難であり、その製作コストも非常に高価となるのが実情である。

【0012】また、凹面反射ミラー109は重量およびサイズが大きく、また、中心部が薄い形状を有しているため、たとえ凹球面109aを理想的球面形状に製作できたとしても、自重、温度あるいは干渉計に組み込む際の固定治具等により歪みが生じやすく、取り扱いが容易でない。

【0013】さらに、上記したように、カバーガラスと組み合わせて使用することを前提とした被検レンズを評価する場合にはカバーガラスに相当する補正板108が必要となるが、この補正板108が薄い場合には製作が困難であると共に、強度が小さいことから容易に変形し、取り扱いに問題がある。特に、被検レンズ104が光ピックアップ用の対物レンズの場合、その高NA化を進めるためには、光ディスク基板のスキューにより発生するコマ収差に対する対策が必要となるが、このコマ収差はNAの3乗に比例し、ディスク基板の厚さに反比例することから、ディスク基板を薄くする必要があり、その結果、干渉計に使用する補正板108の厚さが非常に薄くなる傾向にある。そして、薄い補正板は強度が小さく容易に歪んだり変形することから、その製作および取り扱いの困難さは益々増大することが予想される。

【0014】本発明はかかる問題点を解決するためになされたもので、その課題は、高NAレンズの性能評価を高精度で行うことができると共に、製作および取り扱いが容易な干渉計を提供することにある。

【0015】

【課題を解決するための手段】本発明の干渉計は、被検レンズ通過後の球面波状の光波を球面波状を保ったまま反射する反射手段と、反射手段での反射後、入射光路を逆進して再び被検レンズを通過して得られる被検波面と干渉させるための基準の参照波面を生成する参照波面生成手段とを備え、被検波面と参照波面との干渉を利用して被検レンズの光学特性を評価するための干渉計であって、反射手段として、少なくとも凸球面を有する光学レンズを用いて構成したものである。反射手段としては、例えば、凸球面および平面からなる光学レンズを用い、この光学レンズの平面側を被検レンズに対向させて被検レンズの光軸と略垂直に配置する。そして、被検レンズ通過後の光波を光学レンズの平面側に入射させて、光学レンズの凸球面の曲率中心を中心とする球面波状の波面

に転換すると共に、この球面波状の波面を光学レンズの凸球面の内面で反射させて入射光路を逆進させることにより被検波面を得るようにする。光学レンズとして半球体を用いる場合には、その曲率中心が被検レンズの焦点位置と一致するように配置する。また、被検レンズが、その収束光路上に他の媒質体を配置した状態で使用されるものである場合には、光学レンズは、媒質体と光学的に等価な厚さだけ半球体よりも厚く形成し、被検レンズ通過後の光波が凸球面の曲率中心で焦点を結ぶように配置する。さらに、光学レンズの凸球面側を被検レンズに対向させて配置し、被検レンズ通過後の光波を光学レンズの凸球面で反射させて入射光路を逆進させることにより被検波面を得るようにすることも可能である。

【0016】本発明の干渉計では、被検レンズ通過後の光波は、少なくとも凸球面を有する光学レンズによってその波面形状を保ったまま反射され、その後、入射光路を逆進して再び被検レンズを通過して被検波面となる。この被検波面は、参照波面生成手段によって生成された基準の参照波面と干渉して干渉縞を形成する。

【0017】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0018】図1は本発明の一実施の形態に係るフィゾー干渉計を用いた光学レンズ評価システムの概略構成を表すもので、このシステムは、フリンジスキヤン法を用いて評価を行うものである。この干渉計は、平行光束であるレーザ光11を反射して光軸12の方向に向けるPBS13と、PBS13と被検レンズ14との間に光軸12と直交するようにPBS13に近い方から順に配設された1/4波長板15、平面プレート16およびアパーチャ17と、被検レンズ14の後方（レーザビームの進行方向に着目すると往路方向）に配設された半球状レンズ19と、PBS13の1/4波長板15とは反対側に順に配設されたスクリーン21および例えばCCDを用いた撮像装置22とを備えている。ここで、半球状レンズ19は本発明における反射手段に対応し、平面プレート16は本発明における参照波面生成手段に対応する。

【0019】レーザ光11は直線偏光であり、PBS13の偏光反射面13aにおいて100%の光が往路方向に反射されるようになっている。1/4波長板15は、それを通過する光に対し、直交する2つの偏光成分について90度の位相差を与えることにより、直線偏光を円偏光あるいは円偏光を直線偏光に変換するものである。平面プレート16は、1/4波長板15と対向する面16aに反射防止処理が施され、被検レンズ14と対向する面16bが4%程度の反射率を有する高精度の平行平板であり、このうち平面16bで内面反射して復路方向に向かう光が、干渉を生じさせる基準平面波としての参照波 R_1 となる。この平面プレート16は、図示

しないピエゾ素子等により、光軸12の方向に $\lambda/4$ ずつ4段階の移動が可能となっている。アパーチャ17は、被検レンズ14に入射する光束を制限するための絞りである。被検レンズ14は、例えば光ディスク装置における光ピックアップ用の対物レンズ等であり、高いNAを有している。

【0020】半球状レンズ19は、凸球面19aと平面19bとを有し、このうち平面19bの側を被検レンズ14に対向させ、光軸12と直交するように配置されている。凸球面19aの曲率中心19c（図2）は光軸12上に配置されている。被検レンズ14によって絞られた光は平面19bに入射するようになっている。図2に拡大して示したように、半球状レンズ19は半球体よりもdだけ厚く形成されており、その光軸方向の配置位置は、平面19bから入射した球面状の光波が凸球面19aの曲率中心19cにおいて1点に集光するように微調整されている。曲率中心19cで1点に集まった光は、さらに球面波状に広がり、凸球面19aの内面において、波面形状を保ったまま正反射をし、復路方向に逆進するようになっている。ここで、半球状レンズ19における厚さdの部分は、被検レンズ14がカバーガラス

（光ピックアップ用の対物レンズの場合には、光ディスクの透明基板部分）と組み合わせて使用することを前提とするものである場合において、カバーガラスを通過する際に生ずる光路差と等価な光路差を生じさせるために付加された部分であり、従来の補正板108（図9）の代わりを務めるものである。なお、凸球面19aの反射率は、そこで反射され被検レンズ14および平面プレート16を透過して戻ってきた被検波 R_2 の強度が参照波 R_1 の強度と略等しくなるように設定されている。

【0021】被検レンズ14は、2枚のレンズ14a、14bから構成された高NAレンズであり、理想的には、平面波を完全な球面波に変換するようになっている。なお、被検レンズ14は、単一レンズ構成、あるいは2群以上のレンズ群で構成されるものであっても差し支えない。スクリーン21は、平面プレート16の平面16bで内面反射された参照波 R_1 と、半球状レンズ19の凸球面19aで反射されたのち被検レンズ14によって再び平面波状（平行光）に変換された被検波 R_2 との干渉模様を視覚的に認識できるように映し出すためのものである。スクリーン21上に映し出された干渉模様は、撮像装置22によって撮像され、図示しないマイクロコンピュータによって処理されるようになっている。

【0022】次に、このようなレンズ評価システムの作用を説明する。直線偏光であるレーザ光11はPBS13の偏光反射面13aで略100%反射して光軸12に沿って往路方向に進み、1/4波長板15を透過して円偏光となる。1/4波長板15を透過した光の一部は平面プレート16の面16aで反射されて参照波 R_1 となり、さらに1/4波長板15を復路方向に透過して、元

の直線偏光の偏光方向と直交する偏光方向を有する直線偏光となる。このため、参照波 R_1 はPBS13を略100%透過してスクリーン21上に到達する。

【0023】一方、1/4波長板15を透過して円偏光となり、さらに平面プレート16をも透過した平行光 T_1 は、被検レンズ14によって集光され、焦点を結ぶ前に半球状レンズ19の平面19bに入射する。この半球状レンズ19中に入射した光は、平面19bで屈折して曲率中心19cを中心とする球面波状の波面となり、厚さ d を進んだ後に曲率中心19cで焦点を結んだ後、さらにPを中心とする球面波状の波面に広がりながら半球状レンズ19内を進み、凸球面19aに達する。凸球面19aのうち、反射に供する範囲Sは高精度の球面として形成されているため、入射光波はそこで正反射（垂直反射）を受け、入射波面をそのまま保って入射方向にそのまま逆進する。この結果、元の光路を通して被検レンズ14により再び平行平面波となり、平面プレート16および1/4波長板15を順に透過する。このとき、1/4波長板15を透過することにより円偏光は、元の直線偏光の方向と直交する方向に偏光する直線偏光となるので、PBS13を略100%透過してスクリーン21上に到達する。

【0024】この結果、スクリーン21上には、参照波 R_1 と被検波 R_2 との干渉による明暗模様が映し出され、これが撮像装置22によって撮像される。ここで、平面プレート16は高精度の平行平板であることから、参照波 R_1 は略完全な（歪みのない）平面波形状を有する。したがって、仮に被検レンズ14が理想的な光学性能を備えていたとすると、被検波 R_2 もまた略完全

$$I(x, y, l) = a(x, y) + b(x, y) \cos \{2\pi/\lambda [h(x, y) - l]\} \quad \dots\dots (1)$$

【0028】ここで、 $a(x, y)$ は干渉縞強度分布のバイアス成分、 $b(x, y)$ は干渉縞のコントラスト変化を表す項である。この(1)式は変数 l に関して周期関数になっているので、 l に対してフーリエ変換を行

$$h(x, y) = (\lambda/2\pi) \cdot \tan^{-1} \{ \Sigma I(x, y, l_n) \sin(2\pi n/N) / \Sigma I(x, y, l_n) \cos(2\pi n/N) \} \quad \dots\dots (2)$$

【0030】ここで、 $l_n = n/N$ ($n=0, 1, 2, \dots, N-1$)であり、 Σ は $n=0$ から $n=N-1$ までの総和を表す。

$$h(x, y) = (\lambda/2\pi) \cdot \tan^{-1} \{ (I_1 - I_3) / (I_0 - I_2) \} \quad \dots\dots (3)$$

【0033】ここで、 $I_0 \sim I_3$ はそれぞれ $I(x, y, l_0) \sim I(x, y, l_3)$ を意味し、平面プレート16をそれぞれ0, $\lambda/4$, $\lambda/2$, $3\lambda/4$ だけ移動させたときの各段階において撮像装置22により得られた干渉縞強度分布を表す。

【0034】この(3)式から、被検波 R_2 の波面形状 $h(x, y)$ が得られ、そして、被検波 R_2 の各 (x, y) 位置における $h(x, y)$ の2乗の平均の平方根を

な平面波形状を有することとなり、スクリーン21上の明度分布は略均一（全面が略同一の明度）となる。この状態で、半球状レンズ19の凸球面19aの曲率中心19cを光軸12上から僅かにずらした場合には、スクリーン21上には略直線状の明暗の干渉縞が映し出される。図3は、そのような干渉縞の例を表すものである。この例はNAが0.8の被検レンズについての干渉縞で、その波面収差を rms （2乗平均ルート）で表すと0.028 λ という値になり、良好な光学性能を有していることが判る。

【0025】このようにして、半球状レンズ19の凸球面19aの曲率中心19cを光軸12上から僅かにずらしてスクリーン21上に干渉縞を映し出し、その干渉縞の曲がり具合を調べるという目視による性能判定が可能であるが、この判定をより精度良く行うため、本システムではフリンジスキャン法による性能評価を行う。このフリンジスキャン法は、平面プレート16を $\lambda/4$ ずつ光軸方向に4段階に移動させてスクリーン21に映し出される干渉模様（明暗模様）を変化させ、この明暗の変化を撮像装置22によって撮像して、被検波 R_2 の波面状態を定量的に判定するというもので、より詳細には次のような内容の測定法である。

【0026】フリンジスキャン法について簡単に説明する。今、被検波 R_2 の波面形状を $h(x, y)$ とし、変化させる光路長を l とすると、スクリーン21上に現れ、撮像装置22によって取り込まれる干渉縞の強度分布 $I(x, y, l)$ は次の(1)式で表される。

【0027】

い、その結果から、フーリエ級数の1次の項に対応した実部と虚部とを取り出し、これを変形すると、次の(2)式が得られる。

【0029】

【0031】ここで、 $N=4$ とすると、(2)式から次の(3)式が得られる。

【0032】

とすることで球面収差の rms に対応する値が得られる。

【0035】次に、図4および図5を参照して、本実施の形態の特徴である半球状レンズ19の球面精度について説明する。

【0036】図4は、半球状レンズ19を製作する際の元となる球面レンズの球面精度を測定する干渉計システムの概略構成を表すものである。この図において、図1と同一構成要素には同一符号を付すものとする。このシ

システムでは、図1における被検レンズ14に代えて無限系のヌルレンズ25を配置すると共に、半球状レンズ19に代えてこの半球状レンズ19の元となる球面レンズ19'を配置している。ここで、ヌルレンズ25は、無限光（平行光）を理想的な収束球面波に変換して光軸上の一点に焦点を結ばせるために製作された特殊レンズである。球面レンズ19'は、その曲率中心19cがヌルレンズ25の焦点位置と一致するように配置されている。その他の構成は図1と同様である。

【0037】この干渉計システムでは、ヌルレンズ25によって作られた理想的な収束球面波が被検対象の球面レンズ19'に入射して正反射（垂直反射）し、元の光路を逆進して再びヌルレンズ25を通過して被検波 R_2 となり、この被検波 R_2 が、平面プレート16の平面16bで反射した参照波 R_1 と干渉してスクリーン21状に干渉縞を形成する。したがって、この干渉縞を解析することにより、球面レンズ19'の球面精度を計測することができる。

【0038】図5は、図4の干渉計システムによって得られた球面レンズ19'の球面精度の測定例を表すものである。但し、この図は、目視確認に便利のように、図4における球面レンズ19'の曲率中心19cを光軸上から僅かにずらして配置したときの状態を表している。この図は、球面レンズ19'の凸球面19aのうちNAが0.8に相当する領域について得られた干渉縞であり、各干渉縞が略直線状となっている。その波面収差を rms で表すと0.008 λ という値になり、極めて高精度の球面（理想的球面）に形成されていることが判る。

【0039】このように、本実施の形態では、被検レンズ14を透過した球面波状の波面を正反射させて元の光路に戻すための手段として半球状レンズ19を用いるようにしたので、従来の凹面反射ミラーに比べて小さく軽く製作できる。このため、自重、温度あるいは取付治具等による歪みが少なく、取り扱いが容易で長期間安定した測定が可能である。また、半球状レンズ19は、市販の安価な球面レンズをカットして平面部を鏡面研磨することにより比較的容易に製作でき、しかも、その球面精度も図5に示したように十分なものを得ることができる。したがって、高精度の球面波反射手段を従来の凹面反射ミラーに比べて容易かつ安価に製作することができ、干渉計全体としてのコストを低減することができる。

【0040】しかも、図2から明らかなように、半球状

$$W_{40n} = \{ d (NA)^4 / 8 n^3 \} \{ - (n^2 - 3) (\Delta n / n) + (n^2 - 6) (\Delta n / n)^2 \} \dots (4)$$

【0046】一方、半球状レンズ19の厚み誤差 Δd による残留球面収差 W_{40d} は、次の(5)式により表され

$$W_{40d} = \{ (n + \Delta n)^2 - 1 \} (NA)^4 \Delta d / 8 (n + \Delta n)^3 \dots (5)$$

レンズ19への入射前における光束の開口角 θ に比べると、半球状レンズ19内における光束の開口角 θ' の方が小さくなっていることから、凸球面19aのうちの反射に供せられる範囲Sの面積が従来よりも小さくなる。すなわち、高精度（理想的球面形状）を確保しなければならない面積が小さくて済み、この点でも半球状レンズ19の製作が容易となる。

【0041】さらに、被検レンズ14がカバーガラス（光ピックアップ用の対物レンズの場合には、光ディスクの透明基板部分）と組み合わせて使用することを前提とするものである場合には、半球状レンズ19を完全な半球体として形成するのではなく、半球体よりも、カバーガラスを通過する際に生ずる光路差を考慮して定まる値 d だけ厚く形成すれば、従来必要であった補正板108（図9）が不要となる。このため、今後さらにカバーガラス（光ディスクの透明基板部分）の薄型化が進んだ場合にも、その厚さが極めて薄いがために製作および取り扱いが困難な補正板を省略して、製作および取り扱いが容易な半球状レンズ19の厚さを変えるだけで対応できる。

【0042】次に、図1の半球状レンズ19の厚さ（言い換えると、半球状レンズ19における半球体を超える部分の厚さ d ）をどのようにして決定するかについて簡単に説明する。

【0043】上記したように、半球状レンズ19のうちの厚さ d の部分は、被検レンズ14がカバーガラス（光ピックアップ用の対物レンズの場合には、光ディスクの透明基板部分）と組み合わせて使用することを前提とするものである場合において、カバーガラスを通過する際に生ずる光路差と等価な光路差を生じさせるために付加された部分であり、従来の補正板108（図9）の代わりを務めるものである。ここで、被検レンズ14は、カバーガラス自身によって発生する球面収差を補正するように設計されているものとする。

【0044】今、半球状レンズ19における半球体を超える部分の厚さ d を、カバーガラスの厚さと同じ量に設定したとすると、カバーガラスと半球状レンズ19の屈折率の差によって生ずる球面収差が残ることになる。ここで、カバーガラスの屈折率を n 、半球状レンズ19の屈折率を $n + \Delta n$ としたとき、カバーガラスと同じ厚さの量 d を半球体より厚くした場合の半球状レンズ19の残留球面収差 W_{40n} は、次の(4)式により表される。

【0045】

【0047】

【0048】したがって、球面収差が補正されるための条件は、 $W_{40n} + W_{40d} = 0$ となる。例えば、カバーガラスの厚さ0.1mmでその屈折率が1.57とし、半球状レンズ19の屈折率が1.52とすると、 Δn は0.05減少する。したがって、半球状レンズ19の厚さを、半球から $d + \Delta d = 0.1014$ mmだけ厚くすれば球面収差を完全に補正することができる。そして、このようにして決定された厚さの半球状レンズ19を使用し、被検レンズ14を通過した収束光が半球状レンズ19の凸球面19aの曲率中心19cで焦点を結ぶように配置することにより、球面収差を最小にすることができる。

【0049】但し、実際の評価システムでは、上記の屈折率の差による球面収差に加えて、干渉計の使用波長と被検レンズ14が組み込まれる機器の使用波長の差による色収差をも考慮しなければならない。しかし、この色収差は被検レンズ14の設計仕様によって個々のレンズごとに異なるので、実際には、光線追跡のシミュレーションを行うことによって、上記の球面収差と色収差とを合わせた収差を補正するように半球状レンズ19の厚さを設定する必要がある。すなわち、結局の所、半球状レンズ19の最適厚さは光線追跡プログラムのシミュレーション結果によって決定されることとなる。

【0050】次に、本発明の他の実施の形態を説明する。図6は本実施の形態に係る干渉計に使用する半球状レンズを拡大して表すものである。本実施の形態では、図1および図2に示した半球状レンズ19に代えて、完全なる半球体（すなわち厚さ $d = 0$ ）として形成された半球状レンズ29を使用し、この半球状レンズ29の平面部29bの側と被検レンズ14との間に、従来より用いられていた補正板108を配置する。そして、被検レンズ14からの収束光が半球状レンズ29の凸球面29aの曲率中心29cで焦点を結ぶように半球状レンズ29の位置を調整配置する。

【0051】このような構成とした場合にも、半球状レンズ29における製作および取扱いの容易性、低コスト性、歪み・変形の防止、長期間の安定測定可能性等、上記実施の形態（図1および図2）の場合と同様の効果が得られる。また、半球状レンズ29中での光束の開口角 θ' は元の入射光束の開口角 θ よりも小さくなるので、半球状レンズ29の凸球面29aのうちの反射に供せられる領域Sの面積が小さくて済む点も同様である。但し、本構成は、補正板108が必要となる点で図1および図2と相違する。

【0052】もちろん、被検レンズ14がカバーガラスと組み合わせて使用することを前提とするものでない場合、すなわち、実際の使用に際し半球状レンズ19とビーム照射対象物との間に他の媒質部材が存在しない場合には、図7に示したように、半球状レンズ29を完全な半球体として形成すると共に、被検レンズ14からの収

束光が半球状レンズ29の凸球面29aの曲率中心29cで焦点を結ぶように半球状レンズ29の位置を調整配置するのみでよく、図6における補正板108は必要ない。

【0053】次に、図8を参照して、本発明のさらに他の実施の形態を説明する。本実施の形態では、図1における半球状レンズ19の凸球面19aと平面19bの向きを逆転させ、凸球面19を被検レンズ14の側に向けて配置すると共に、凸球面19aの曲率中心19cが被検レンズ14の焦点位置に一致するように調整配置する。また、半球状レンズ19と被検レンズ14との間には、補正板108を配置する。その他の構成および配置関係は図1と同様である。

【0054】本実施の形態では、被検レンズ14を通過した収束波面は補正板108を通過したのち、半球状レンズ19の凸球面19aで正反射をし、元の入射光路を経て被検レンズ14を逆向きに透過して被検波 R_2 となる。上記した実施の形態（図1等）では、被検レンズ14を通り一旦焦点を結んだ後の広がりつつある光波を半球状レンズ19等の凸球面19a等において内面反射させるようにしているのに対し、本実施の形態では、被検レンズ14を通り焦点を結ぶ前の収束光波を半球状レンズ19の凸球面19aにおいて外面反射させるようにしている。

【0055】本実施の形態においても、半球状レンズ19における製作および取扱いの容易性、低コスト性、歪み・変形の防止、長期間の安定測定可能性等、上記実施の形態（図1および図2）の場合と同様の効果が得られる。但し、被検レンズ14がカバーレンズの使用を前提とする場合にあっては、図8に示したように、補正板108が必要となる。

【0056】以上、実施の形態を挙げて本発明を説明したが、本発明はこの実施の形態に限定されるものではなく、その均等の範囲で種々変形可能である。例えば、上記の各実施の形態では、干渉計としてフィゾータイプのもを使用することとしたが、その他のタイプの干渉計（例えばトワイマン・グリーン干渉計等）でもよい。また、被検レンズ14としては、光ピックアップ用の対物レンズを例に説明したが、その他、顕微鏡の対物レンズ等の評価にも適用できるのはもちろんである。

【0057】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1ないし5のいずれかに記載の干渉計によれば、被検レンズ通過後の球面波状の光波を、少なくとも凸球面を有する光学レンズによってその波面形状を保ったまま反射させ、その後、入射光路を逆進して再び被検レンズを通過してきた被検波面と、参照波面生成手段によって生成した参照波面とを干渉させて干渉縞を形成するようにしたので、反射手段として、凸球面を有する光学レンズを用いることができ、従来の凹面反射ミラーに比べて小さく軽く製作

できる。このため、自重、温度あるいは取付治具等による歪みが少なく、取り扱いが容易で長期間安定した測定が可能である。また、凸球面を有する光学レンズは、市販の安価な球面レンズをカットして平面部を鏡面研磨することにより比較的容易に製作でき、しかも、その球面精度も十分なものを得ることができる。したがって、高精度の球面波反射手段を従来の凹面反射ミラーに比べて容易かつ安価に製作することができ、干渉計全体としてのコストを低減することができる。

【0058】また、請求項2または3記載の干渉計によれば、光学レンズの凸球面における内面反射を利用して、被検レンズ通過後の光波をその波面形状を保ったまま反射するようにしたので、請求項1記載の干渉計の効果に加え、従来のように外面反射の場合に比べて収束光の開口角が小さくなり、その分、反射に供せられる凸球面領域の面積を小さくでき、高精度の球面の製作がより容易になるという効果がある。

【0059】また、請求項4記載の干渉計によれば、被検レンズが、その収束光路上に他の媒質体を配置した状態で使用されるものである場合において、光学レンズを、媒質体と光学的に等価な厚さだけ半球体よりも厚く形成し、被検レンズ通過後の光波が凸球面の曲率中心で焦点を結ぶように配置するようにしたので、請求項2記載の干渉計の効果に加え、従来必要であった補正板を不

要にすることができるという効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施の形態に係る干渉計の構成を表す説明図である。

【図2】図1における半球状レンズを拡大して表す説明図である。

【図3】図1に示した干渉計を用いて被検レンズについて得られた干渉縞を表す説明図である。

【図4】図1における半球状レンズの球面精度を測定するための干渉計システムの構成を表す説明図である。

【図5】図4に示した干渉計システムにより得られた半球状レンズの干渉縞を表す説明図である。

【図6】本発明の他の実施の形態に係る干渉計に用いる半球状レンズおよび補正板を表す説明図である。

【図7】本発明のさらに他の実施の形態に係る干渉計に用いる半球状レンズを表す説明図である。

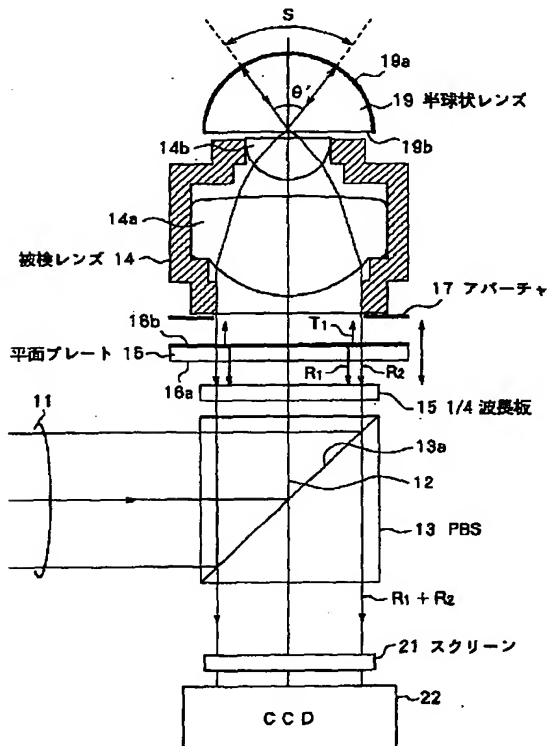
【図8】本発明のさらに他の実施の形態に係る干渉計の構成を表す説明図である。

【図9】従来の干渉計の構成を表す説明図である。

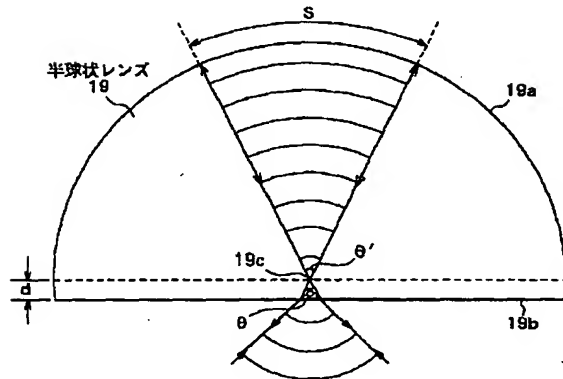
【符号の説明】

12…光軸、13…偏光ビームスプリッタ、14…被検レンズ、15…1/4波長板、16…平面プレート、19…半球状レンズ、19a…凸球面、19b…平面

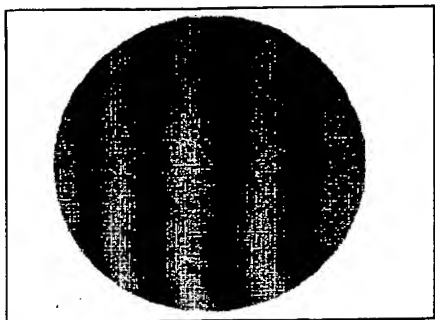
【図1】



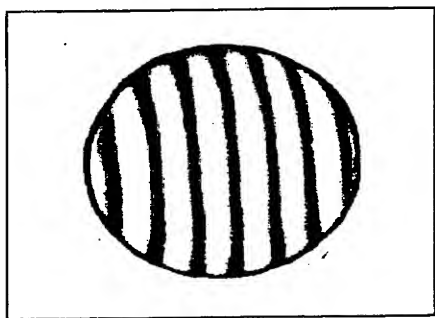
【図2】



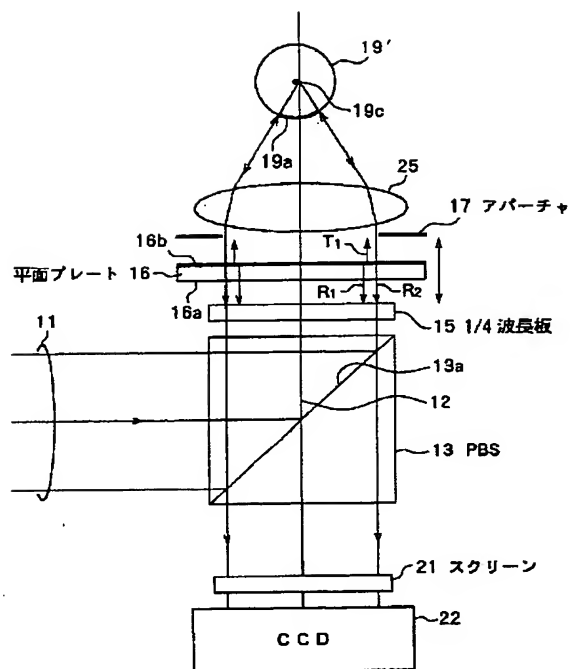
【図3】



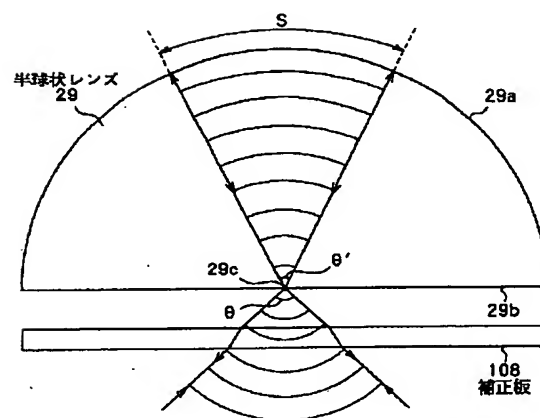
【図5】



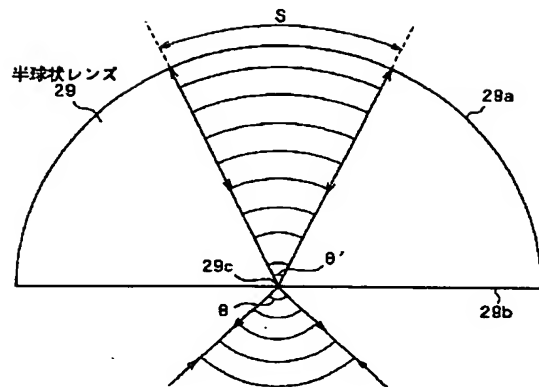
【図4】



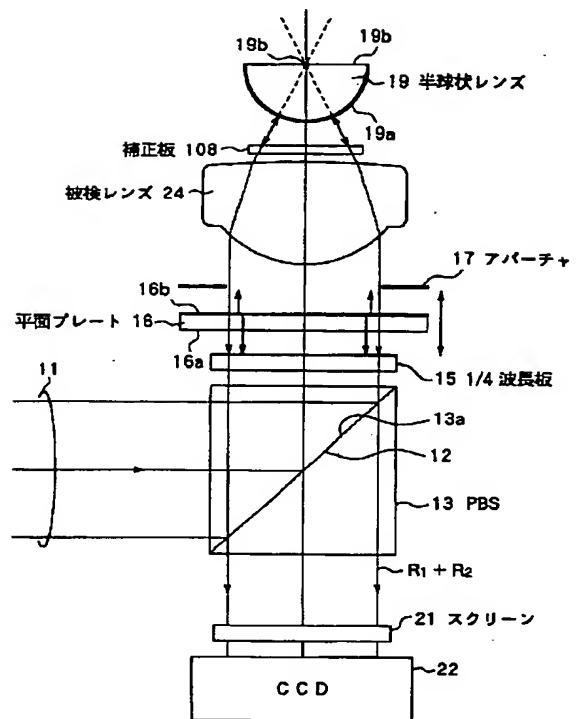
【図6】



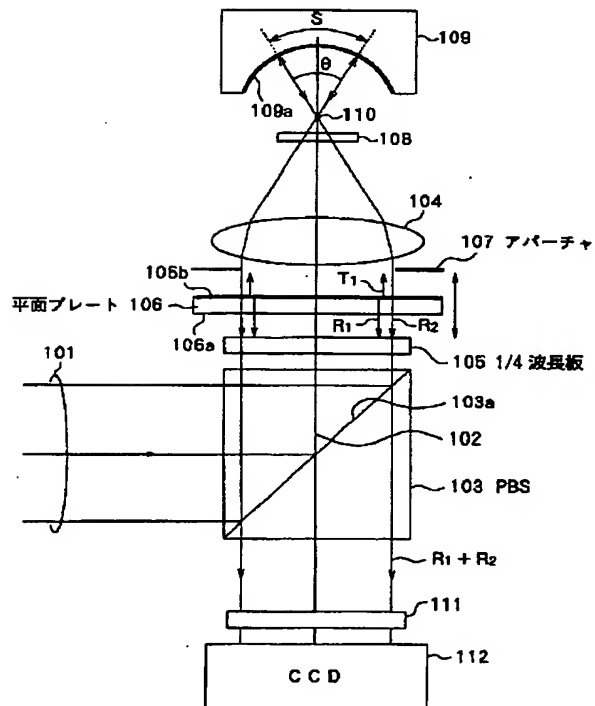
【図7】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 渡辺 俊夫
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

(72)発明者 大里 潔
東京都品川区北品川6丁目7番35号 ソニ
ー株式会社内

Publication of Unexamined Patent Application

(11) Publication Number: 90113/1998
(43) Date of Publication: April 10, 1998
(21) Application Number: 267813/1996
(22) Date of Filing: September 18, 1996
(71) Applicant: Sony Corp.

(54) Title of Invention:

Interferometer

[0017]

[Embodiment for implementing the invention]

Hereinafter, the embodiment of the present invention will be described in detail with reference to the drawings.

[0018]

Fig. 1 shows the schematic structure of an optical lens evaluation system incorporating a Fizeau interferometer, according to an embodiment of the present invention, the system using the fringe scanning method for evaluation. The interferometer is provided with a polarizing beam splitter (PBS) 13 for reflecting a laser beam 11, which is a parallel pencil of rays, and for directing it to the direction of optical axis 12, a quarter wavelength plate 15, a plane plate 16 and an aperture 17, the latter three parts being arranged so as to be disposed perpendicularly to the optical axis 12 between

the PBS 13 and the lens under test 14 in the above order from the side of PBS 13. The interferometer is further provided with a hemispherical lens 19, behind the lens under test 14 (to the side of forward path with respect to the traveling laser beam), and, across the PBS 13 to the side opposite to the quarter wavelength plate 15, with a screen 21 and an imaging device 22 such as CCD, arranged in order. Here, the hemispherical lens 19 corresponds to the reflector means in the present invention, and the plane plate 16 corresponds to the reference wavefront generator means in the invention.

[0019]

The laser beam 11, which is a linearly polarized light, is reflected a hundred percent by the polarizing reflector surface 13a of the PBS 13 to the direction of forward path. The quarter wavelength plate 15 converts a linearly polarized light into a circularly polarized light and *vice versa*, by producing a phase difference of 90 degrees between two orthogonal polarized components of the passing light. The plane plate 16 has been subjected to anti-reflection treatment on a surface 16a facing to the quarter wavelength plate 15, and another plane surface 16b thereof facing toward the lens under test 14 is a high-precision parallel plane plate having a reflectivity of about 4%. A component of the light reflected backward internally by the plane surface 16b is used as a reference wave R_1 , which is the reference plane wave for causing

interference. The plane plate 16 can be moved along the optical axis 12 by four steps of $\lambda/4$ each, by means of piezoelectric element (not shown) etc. The aperture 17 is a diaphragm for limiting the optical flux incident on the lens under test 14. The lens under test 14 is an objective having high NA, which is used, for example, for the optical pickup in optical disc device, and so forth.

[0020]

The hemispherical lens 19 has a convex spherical surface 19a and a plane surface 19b, in which the plane surface 19b being disposed perpendicularly to the optical axis 12, and facing to the lens under test 14. The center of curvature 19c (See Fig. 2) of the convex spherical surface 19a is disposed on the optical axis 12. A beam converged by the lens under test 14 is directed to be incident on the plane surface 19b. As shown in the enlarged picture of Fig. 2, the hemispherical lens 19 has been formed thicker than that of hemispherical body by a thickness d , and its position has been finely adjusted so that the spherical light wave which entered from the plane surface 19b could be focused on a point at the center of curvature 19c of the convex spherical surface 19a. The light focused on a point at the center of curvature 19c is further diverged in the form of spherical wave and reflected specularly by the inner surface of the convex spherical surface 19a, with keeping the form of spherical wave, to travel back along the backward path.

Here, the portion having a thickness d in the hemispherical lens 19 has been added for the purpose of producing the difference of optical path equivalent to the path difference caused by passing through the cover glasses, on the assumption that the lens under test 14 is used with cover glasses (or a portion of the transparent base of optical disc, in case the lens is the objective for optical pickup). It is a substitute for a compensating plate 108 (Fig. 9) used conventionally. Furthermore, the reflectivity of the convex spherical surface 19a is determined so that the intensity of testing wave R_2 , which has been reflected by the convex spherical surface 19a and traveled back through the lens under test 14 and the plane plate 16, becomes approximately equal to that of the reference wave R_1 .

[0021]

The lens under test 14 is a high NA lens composed of two lens components 14a and 14b, and, ideally, designed to convert a plane wave into a perfectly spherical wave. However, even if the lens under test 14 were composed of a single lens or a lens group of two or more lens components, it would make no difference. The screen 21 projects an interference pattern, which is produced between the reference wave R_1 , which has been reflected internally by the plane surface 16b of the plane plate 16, and the testing wave R_2 , which has been reflected by the convex spherical surface 19a of the hemispherical lens 19 and

then converted again by the lens under test 14 into the form of plane wave (parallel beam), so that the interference pattern can be visually recognized. The interference pattern projected on the screen 21 is picked up by an imaging device 22 and processed by a microcomputer (not shown).

[0022]

Next, the operation of such an evaluation system will be described. The laser beam 11, which has been linearly polarized, is reflected substantially a hundred percent by the polarizing reflector surface 13a of the PBS 13, travels to the direction of forward path along the optical axis 12, and transmits through the quarter wavelength plate 15 to produce a circularly polarized light. A portion of the light transmitted through the quarter wavelength plate 15 is reflected by the surface 16a of the plane plate 16 to provide the reference wave R_1 , and transmits again through the quarter wavelength plate 15 to the direction of backward path to produce a linearly polarized light, the polarizing direction thereof being orthogonal to the original direction of the linearly polarized light. Consequently, almost a hundred percent of the reference wave R_1 can transmit through the PBS 13 and reach the screen 21.

[0023]

On the other hand, the parallel beam T_1 , which has transmitted through the quarter wavelength plate 15 to produce

a circularly polarized light and further transmitted through the plane plate 16, is converged by the lens under test 14 and is incident on the plane plate 19b of the hemispherical lens 19 before coming in focus. The light that entered within the hemispherical lens 19 is refracted by the plane plate 19b to produce a wavefront of spherical waveform having the center at the center of curvature 19c, and further travels for the thickness of d to become in focus. Then, it further travels through the hemispherical lens 19, with expanding to a larger wavefront of spherical waveform having the center at P , until it reaches the convex spherical surface 19a. Since a portion S used for reflection in the entire convex spherical surface 19a has been formed to be a high-precision spherical surface, the incident light wave is reflected by the surface at right angle thereto (reflected specularly), and further travels back along the same path it has entered, with keeping the form of spherical wave. Consequently, the beam travels back along the same path as before to produce a parallel plane wave again by the lens under test 14, and further transmits through the plane plate 16 and the quarter wavelength plate 15 in order. In this connection, by transmitting through the quarter wavelength plate 15, the beam is converted from the circularly polarized light into the linearly polarized light, the polarizing direction thereof being orthogonal to the original direction of the linearly polarized light. Therefore, almost a hundred

percent of the beam can transmit the PBS 13 and reaches the screen 21.

[0024]

As the result, a light and shade pattern created by the interference between the reference wave R_1 and the testing wave R_2 is projected on the screen 21, and the pattern is picked up by the imaging device 22. In this case, since the plane plate 16 is a high-precision parallel plane plate, the reference wave R_1 has a substantially perfect (distortion-free) waveform of a plane wave. Accordingly, if the lens under test 14 had ideal optical properties, the testing wave R_2 would have a substantially perfect waveform of a plane wave as well, and thereby the lightness distribution on the screen 21 would become substantially uniform (the lightness being about the same level across the screen). Under such conditions, when the center of curvature 19c of convex spherical surface 19a in the hemispherical lens 19 is slightly offset from the optical axis 12, interference fringes, which are composed of light and shade of roughly straight lines, are projected on the screen 21. Fig. 3 shows an example of such interference fringes. This example shows the interference fringes of a lens under test having NA of 0.8, the wavefront aberration measures 0.028λ in rms (root-mean-square) and it shows that the lens has excellent optical properties.

[0025]

It would be possible to determine the properties with the naked eye, in a manner of the above-described, i.e., by making the center of curvature 19c of convex spherical surface 19a in the hemispherical lens 19 offset slightly from the optical axis 12 to project the interference fringes on the screen 21, and examining the straightness of the interference fringes. In the present system, however, a fringe scanning method is employed for evaluating properties, in order to improve the preciseness of evaluation. In the fringe scanning method, the interference pattern (light and shade pattern) projected on the screen 21 is varied by moving the plane plate 16 axially up to four steps with a distance of $\lambda/4$ a step, and the change of light and shade pattern is picked up by the imaging device 22 to determine quantitatively the state of wavefront of the testing wave R_2 . The content of measurement will be shown more in detail as follows.

[0026]

The fringe scanning method will be briefly described. Assuming the form of wavefront of the testing wave R_2 is $h(x,y)$ and moving distance on the optical path is l , the intensity distribution $I(x,y,l)$ of the interference fringes, which appear on the screen 21 and are picked up by the imaging device 22, is given by Equation (1) as follows.

[0027]

$$I(x,y,l) = a(x,y) + b(x,y) \cos\{2\pi/\lambda[h(x,y) - l]\} \dots (1)$$

[0028]

Here, $a(x,y)$ is a bias component of the intensity distribution of interference fringes, while $b(x,y)$ is a term representing the contrast variation of interference fringes. Since Equation (1) is a periodic function in relation to a variable l , the Fourier transform can be performed with respect to l . From the result, the real and imaginary parts corresponding to the primary term of the Fourier transform are extracted and modified, and it provides the following Equation (2) is gained.

[0029]

$$h(x, y) = (\lambda/2\pi) \cdot \tan^{-1} [\Sigma I(x, y, l_n) \sin(2\pi n/N) / \Sigma I(x, y, l_n) \cos(2\pi n/N)] \dots (2)$$

[0030]

Here, $l_n = n/N$ ($n = 0, 1, 2, \dots, N-1$), and Σ stands for the summation for n from 0 through $N-1$.

[0031]

Now, taking $N = 4$ in Equation (2), Equation (3) is obtained as follows.

[0032]

$$h(x, y) = (\lambda/2\pi) \cdot \tan^{-1} [(I_1 - I_3) / (I_0 - I_2)] \dots (3)$$

[0033]

Here, I_0, I_1, I_2 and I_3 stand for $I(x, y, I_0) \dots I(x, y, I_3)$, respectively, which are the intensity distributions of interference fringes obtained by the imaging device 22, for

each step when the plane plate 16 is moved by 0, $\lambda/4$, $\lambda/2$ and $3\lambda/4$.

[0034]

From Equation (3), the wavefront form $h(x,y)$ of testing wave R_2 can be obtained, and the value corresponding to rms of spherical aberration can be further obtained, by determining the root of mean square of $h(x,y)$ of the testing wave R_2 for each position (x,y) .

